



19 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

12 **Offenlegungsschrift**
10 **DE 199 41 122 A 1**

51 Int. Cl. 7:
H 01 S 5/065
H 01 S 5/40
H 01 S 5/14
// G01N 21/62

21 Aktenzeichen: 199 41 122.0
22 Anmeldetag: 25. 8. 1999
43 Offenlegungstag: 27. 7. 2000

Mit Einverständnis des Anmelders offengelegte Anmeldung gemäß § 31 Abs. 2 Ziffer 1 PatG

71 Anmelder:

Reimann, Olaf, 13435 Berlin, DE; Huhse, Dieter,
12167 Berlin, DE; Bimberg, Dieter, Prof. Dr., 14089
Berlin, DE; Böttcher, Ernst-Holger, Dr., 12167 Berlin,
DE

72 Erfinder:

gleich Anmelder

56 Entgegenhaltungen:

ONODERA, N.: THz optical beat frequency generation by modelocked semiconductor lasers.

In: Electronics Letters, Vol. 32, No. 11, 1996, S. 1013-1015;

HYODO, M. u.a.: Fourier synthesis of 257 GHz optical pulse train by phaselocking of three continuouswave semiconductor lasers. In: Electronics Letters, Vol. 35, No. 7, 1999, S. 564-566;

VICKERS, A.J. u.a.: A proposed semiconductor laser pump-probe source. In: Optical and Quantum Electronics, Vol. 28, 1996, S. 983-989;

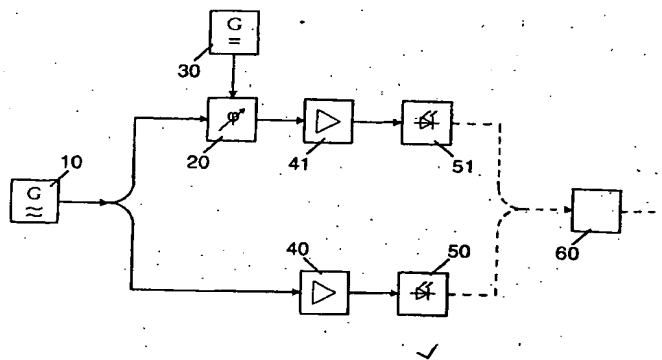
Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

54 Verfahren und Vorrichtung zur Erzeugung mehrerer zeitlich zueinander variabler Laserpulse mit geringem Zeitjitter mittels mehrerer Halbleiterlaserdioden in Selbstinjektionskonfiguration

57 Systeme zur Erzeugung von zeitlich zueinander verschiebbaren Laserpulsen mit mechanischen Verzögerungsleitungen können nur sehr langsam den gewünschten Zeitbereich durchfahren, welcher auch auf nur wenig hundert Pikosekunden eingeschränkt ist. Alternative System mit zwei PulsLasern besitzen entweder nur einen fest vorgegebenen Scanbereich oder unterliegen einem starken Zeitjitter der Pulse zueinander. Die neue Anordnung ermöglicht die Erzeugung von zeitlich zueinander verschiebbaren Laserpulsen bei hoher Scangeschwindigkeit, niedrigem Zeitjitter und freier Wahl des Scanbereiches. Eine Kombination mehrerer Halbleiterlaserdioden in Selbstinjektionskonfiguration (50, 51), denen ein niedriger unkorrelierter Zeitjitter inhärent ist, erzeugt zueinander synchronisierte Laserpulse, deren zeitliche Verschiebung zueinander mittels Variation der Phasenlage (20, 30) des aus einem phasenrauscharmen Oszillator (10) gewonnenen elektrischen Ansteuersignals der Laserdioden geschieht. Um den störenden unkorrelierten Zeitjitter im optischen Weg weiterhin niedrig zu halten, ist eine Ausbreitung bzw. Verarbeitung in einem gemeinsamen Wellenleiter (60) vorgesehen.

Die Anordnung ermöglicht den Bau einfacher Quellen zur Erzeugung mehrerer zeitlich zueinander verschiebbarer Laserpulse bei geringem Zeitjitter.



BEST AVAILABLE COPY

Anordnungen zur Erzeugung zeitlich zueinander variabler Laserpulse sind bekannt und lassen sich hauptsächlich in drei Kategorien einteilen:

- a) Anordnungen mit mechanischen Verzögerungsleitungen
- b) Anordnungen mit frei laufenden Lasern leicht unterschiedlicher Wiederholrate
- c) Anordnungen mit Steuerung des Zeitpunktes der Pulserzeugung.

Anordnungen zur Erzeugung zeitlich zueinander variabler Laserpulse mit mechanischen Verzögerungsleitungen, wie z. B. Verschiebetische mit Schrittmotoren (kommerziell erhältlich) oder rotierenden Spiegelpaaren (Z. A. Yasa et. al., Opt. Comm., vol. 36 (1978), S. 406) haben den gravierenden Nachteil, daß sich mit ihnen nur recht kleine Zeitdifferenzen von einigen hundert Pikosekunden erzeugen lassen. So beträgt die erforderliche Ortsveränderung für ein Zeitfenster von 10 ns in Luft ca. 3 m und ist damit für die meisten Meßzwecke nicht vernünftig realisierbar. Hinzu kommt, daß die durch die mechanische Bewegung erzeugte Defokussierung und damit verbundene Intensitätsänderung des optischen Signals für viele Anwendungen nicht tragbar ist. Zudem sind die erzielbaren Scanraten von wenigen Hertz für eine meist erforderliche Mittelwertbildung der Meßsignale zu gering, da hierdurch die Meßzeiten stark ansteigen.

Anordnungen zur Erzeugung zweier zeitlich zueinander variabler Laserpulse mit zwei frei laufenden Lasern leicht unterschiedlicher Wiederholrate sind als Alternative zu den oben beschriebenen mechanischen Verfahren schon mehrfach eingesetzt worden (A. Black et. al., Rev. Sci. Instrum., vol. 63 (1992), S. 3191 oder K. S. Giboney et. al., IEEE Photon. Tech. Lett., vol. 6 (1994), S. 1353). Diese Verfahren haben den Nachteil, daß immer der gesamte zeitliche Scanbereich durchfahren werden muß und so bei gewünschter Erzeugung eines zeitlich kurzen Scanbereiches große Totzeiten entstehen, die wiederum evtl. große Mittelungszeiten zur Folge haben.

Systeme, die bei der Verwendung von zwei Lasern gleicher Wiederholrate auf der Variation der Phase der elektrischen Ansteuersignale eines Lasers (meist Ti:Saphir-Laser) beruhen und somit auch kleine Scanbereiche ermöglichen, sind zum Teil schon kommerziell erhältlich (z. B. Spectra Physics Lok-to-Clock™), haben aber den Nachteil eines relativ großen Zeitjitters, was nur Messungen mit recht geringer zeitlicher Auflösung gestattet. Weiterhin sind Systeme bekannt, die eine freie Einstellung der Zeitdifferenz zwischen zwei modengekoppelten Lasern mittels Variation der Kavitätslänge eines Lasers durch Piezoelemente ermöglichen (G. Sucha et. al., IEEE JSTQE, vol. 2 (1996), S. 605). Die Laser sind durch eine Phasenregelschleife miteinander synchronisiert. Nachteil dieses Verfahrens ist ebenfalls ein recht hoher Zeitjitter. Auch Verfahren zur Pulserzeugung mit mehreren gewinn geschalteten Halbleiterlasern sind schon mehrfach realisiert worden (T. Kanada et. al., Opt. Lett., vol. 11 (1986), S. 4 oder A. J. Vickers et. al., Opt. and Quant. Electr., vol. 28 (1996), S. 983). Auch hier tritt als Nachteil der sehr hohe Zeitjitter oder zusätzlich, wie bei A. J. Vickers et. al., eine Veränderung der optischen Signalform über den Scanbereich auf.

Ein wesentlicher Teil der der Erfindung zugrunde liegenden Anordnung ist die Verwendung von Laserdioden in Selbstinjektionskonfiguration. Ein solcher Aufbau wurde bereits 1983 demonstriert (z. B. S. Lundquist et. al., Appl. Phys. Lett., vol. 43 (1983), S. 715 oder M. Schell et. al., IEEE J. Select. Topics Quantum Electron., vol. 1 (1995), S. 528). Bei dieser Selbstinjektion genannten Technik wird ein Teil der in einer ausgewählten Fabry-Perot Mode emittierten Leistung in die Laserdiode zurückgekoppelt. Diese wellenlängenselektive Rückkopplung geschieht meistens über ein Reflexionsgitter (z. B. M. Schell et. al., Electron. Lett., vol. 28 (1992), S. 2154). Es wurden jedoch auch Aufbauten mit einem Etalon (L. P. Barry et. al., IEEE Photon. Technol. Lett., vol. 5 (1993), S. 1132) und mit Fasergittern (D. Huhse et. al., Appl. Phys. Lett., vol. 69 (1996), S. 2018) demonstriert. Wenn die Wiederholrate der elektrischen Pulse der Umlaufdauer der optischen Pulse in der externen Kavität angepaßt wird, dann schaltet die Laserdiode von mehrmodiger in einmodige Emission um, wobei die Wellenlänge durch die externe Kavität gegeben ist (und gegebenenfalls verändert werden kann). Neben den Konzepten mit Gittern oder Filtern wurden auch Aufbauten ganz ohne klassische wellenlängenselektive Elemente, nur mit dispersiven Glasfasern, demonstriert (D. Huhse et. al., Electron. Lett., vol. 30 (1994), S. 157). Verschiedene Verfahren der Selbstinjektion erlauben eine rein elektrische Abstimmung der Wellenlänge, ohne daß dabei irgendwelche Komponenten mechanisch bewegt werden müssen.

Die durch die Selbstinjektion erzeugten Laserpulse weisen eine charakteristische, annähernd lineare Änderung der Zentralwellenlänge während der Pulsemission (sogenannter "Chirp") auf. Dieser Chirp kann, muß aber nicht, in geeigneten Glasfasern kompensiert und der Puls auf diese Weise komprimiert werden.

Es ist bekannt, daß durch Selbstinjektion erzeugte Laserpulse einen deutlich kleineren Zeitjitter als die durch eine gewinn geschaltete DFB-Laserdiode erzeugten Laserpulse aufweisen (M. Schell et. al., Appl. Phys. Lett., vol. 65 (1994), S. 3045). Diese Eigenschaft der Selbstinjektion ist entscheidend für die Erfindung.

Der im Patentanspruch 1 angegebenen Erfindung liegt das Problem zugrunde, eine Anordnung zur Erzeugung mehrerer zeitlich zueinander variabler Laserpulse zu schaffen, die eine elektrisch frei einstellbare Zeitdifferenz bei gleichzeitig niedrigem Zeitjitter aufweisen.

Das Problem wird bei einer gattungsgemäßen Vorrichtung durch die kennzeichnenden Merkmale des Patentanspruchs 1 gelöst. Weitere mögliche Ausgestaltungen der Erfindung sind den Unteransprüchen zu entnehmen.

Der Vorteil der Erfindung besteht darin, daß die Erzeugung unterschiedlicher optischer Laserpulse mit sehr geringem Zeitjitter bei gleichzeitig frei variabler Zeitdifferenz der Pulse zueinander durch Phasenvariation des elektrischen Ansteuersignals eines oder mehrerer Halbleiterlaser in Selbstinjektionskonfiguration geschieht. Dadurch können beliebige Zeitdifferenzen, nur begrenzt durch die Wiederholrate der Laser, bei hoher Variationsgeschwindigkeit eingestellt werden. Ein weiterer Vorteil ist die Erhaltung des niedrigen Zeitjitters durch gemeinsame Ausbreitung der optischen Pulse in einem gemeinsamen Medium.

Eine weitere vorteilhafte Ausgestaltung der Erfindung ist im Patentanspruch 2 angegeben. Eine Weiterbildung nach Patentanspruch 2 ermöglicht eine einfache Ausgestaltung einer elektrischen Synchronisation eines oder mehrerer Halbleiterlaser in Selbstinjektionskonfiguration mit externen Anordnungen bei niedrigem Zeitjitter durch Abgriff des elektrischen

schen Zündpulses des Lasers.

Eine weitere vorteilhafte Ausgestaltung der Erfindung ist im Patentanspruch 3 angegeben. Eine Weiterbildung nach Patentanspruch 3 ermöglicht eine räumliche Trennung der optischen Pulse nach dem Durchlaufen einer gemeinsamen Pulsausbreitung und/oder Pulsveränderung in optischen Wellenleitern zum Erhalt des niedrigen Zeitjitters.

Eine weitere vorteilhafte Ausgestaltung der Erfindung ist im Patentanspruch 4 angegeben. Eine Weiterbildung nach Patentanspruch 4 ermöglicht eine einfache räumliche Trennung der optischen Pulse nach dem Durchlaufen einer gemeinsamen Pulsausbreitung und/oder Pulsveränderung in optischen Wellenleitern zum Erhalt des niedrigen Zeitjitters. Die Trennung der Pulse unterschiedlicher Wellenlänge geschieht mittels mehrerer spektraler Filter.

Eine weitere vorteilhafte Ausgestaltung der Erfindung ist im Patentanspruch 5 angegeben. Eine Weiterbildung nach Patentanspruch 5 ermöglicht ebenfalls eine einfache räumliche Trennung der optischen Pulse nach dem Durchlaufen einer gemeinsamen Pulsausbreitung und/oder Pulsveränderung in optischen Wellenleitern zum Erhalt des niedrigen Zeitjitters. Die Trennung der Pulse unterschiedlicher, zueinander senkrechter Polarisation geschieht mittels eines Polarisationssteilers oder eines Strahlteilers mit zwei nachfolgenden zueinander senkrecht justierten Polarisationsfiltern.

Eine weitere vorteilhafte Ausgestaltung der Erfindung ist im Patentanspruch 6 angegeben. Eine Weiterbildung nach Patentanspruch 6 ermöglicht eine einfache räumliche Trennung der optischen Pulse nach dem zeitversetzten Durchlaufen einer gemeinsamen Pulsausbreitung und/oder Pulsveränderung in optischen Wellenleitern zum Erhalt des niedrigen Zeitjitters. Die Trennung der Pulse geschieht mittels optischer Schaltelemente, wie z. B. elektrooptische oder akustooptische Modulatoren.

Die Erfindung wird im folgenden anhand von Ausführungsbeispielen, die in den Fig. 1 bis 7 gezeigt sind, näher beschrieben.

Fig. 1 zeigt ein mögliches Ausführungsbeispiel der Erfindung nach Patentanspruch 1. Das Ausgangssignal eines elektrischen Oszillators (10) mit der Frequenz f_0 wird in mehrere Zweige (in Fig. 1 sind beispielhaft nur zwei Zweige dargestellt) aufgeteilt. Ein Teil des Ausgangssignals wird direkt über eine Pulsformerstufe (40) auf eine Fabry-Perot-Laserdiode in Selbstinjektionskonfiguration (50) geführt. Ein anderer Teil des elektrischen Signals wird durch einen Phasenschieber (20) ebenfalls über eine Pulsformerstufe (41) auf eine weitere Fabry-Perot-Laserdiode in Selbstinjektionskonfiguration (51) geführt. Die Pulsformerstufen dienen der optimalen Anpassung von Form und Amplitude des elektrischen Signals an die Laserdiode. Die Einstellung der Phasenlage des Ausgangssignals des Phasenschiebers (20) geschieht elektrisch durch eine externe Spannungs- oder Stromquelle (30), wodurch eine frei variable Veränderung der Phasenlage durch schnelle Variation des Ausgangssignals der Quelle (30) mit einer Scanrate von mehreren Kilohertz bis in den Megahertzbereich möglich ist. Es können alternativ zu Fig. 1 auch mehrere, aus den Positionen (20, 30, 41, 51) bestehende Zweige realisiert werden. Die von den Laserdioden in Selbstinjektionskonfiguration erzeugten optischen Signale werden gemeinsam in einen optischen Wellenleiter (60) eingebracht. Die Zeitdifferenz T_D zwischen den optischen Signalen des Referenzlasers (50) und des zeitvariablen Lasers (51) wird mittels der Quelle (30) eingestellt und kann maximal $T_{Dmax} = 1/f_0$ betragen. Die eingestellte Zeitdifferenz beträgt bei einem Ausgangssignal A der Quelle (30) und einer prinzipiell nichtlinearen Übertragungsfunktion $F(A)$ des Phasenschiebers (20):

$$T_D = \frac{1}{f_0} \cdot \frac{F(A)}{2\pi} \quad \text{mit } [F(A)] = \text{rad}$$

Da die Signale aller Zweige aus demselben elektrischen Oszillatorsignal gewonnen werden, sind die durch die elektrische Ansteuerung hervorgerufenen Zeitjitteranteile der einzelnen Zweige miteinander korreliert und gehen somit nicht in die Betrachtung des Zeitjitters der optischen Signale untereinander ein. Unkorrelierte und damit störende Zeitjitteranteile werden hauptsächlich nur durch die Laserdioden hervorgerufen. Eine wesentliche Eigenschaft der Erfindung ist daher die Verwendung von Fabry-Perot-Laserdioden in Selbstinjektionskonfiguration, denen ein sehr niedriger unkorrelierter Zeitjitter inhärent ist. Die Ausbreitung und/oder Veränderung der optischen Signale in einem gemeinsamen Wellenleiter fügt im wesentlichen ebenfalls nur korrelierten Zeitjitter hinzu und verhindert somit ebenfalls als wesentliche Eigenschaft der Erfindung das Anwachsen des störenden unkorrelierten Zeitjitters, wie dies bei Verwendung separater Wellenleiter der Fall wäre.

Für die Erfindung ist es unerheblich, welche Ausführungsform der verwendete Phasenschieber (20) hat. Alternativ zu dem in Fig. 1 beschriebenen Aufbau läßt sich beispielsweise auch eine Kombination mehrerer miteinander synchronisierter Oszillatoren mit interner Phasenregelung, mehrerer zueinander in der Frequenz leicht abweichender Oszillatoren oder aber der Einsatz von I/Q-Modulatoren als elektrische Phasenschieber denken. Ebenso ist die Verwendung von mechanischen Phasenschiebern unter Verzicht auf die hohe Scangeschwindigkeit möglich. Auch der Einsatz der Pulsformerstufen (40, 41) ist nicht zwingend notwendig.

Ein mögliches Ausführungsbeispiel des Halbleiterlasers in Selbstinjektionskonfiguration (50 oder 51 in Fig. 1) ist in Fig. 2 dargestellt. Die Fabry-Perot Laserdiode (1) wird mit kurzen elektrischen Pulsen angesteuert. Das von der Laserdiode emittierte Licht wird (z. B. über eine Linse (2)) in eine Glasfaser (3) eingekoppelt. In die Glasfaser selbst ist ein Fasergitter (4) mit einer typischen Reflektivität zwischen 2% und 50% eingeschrieben, dessen spektrale Halbwertsbreite kleiner als der Abstand der Fabry-Perot-Moden der Laserdiode ist.

Für die Erfindung selbst ist es völlig unerheblich, welche Ausführungsart der Selbstinjektion zum Einsatz kommt. Denkbar sind hier z. B. die Rückkopplung über ein externes Reflexionsgitter, über mehrere verschiedene Glasfasergitter, eine dispersive Glasfaser oder ein Fabry-Perot-Filter. Auch weitere, hier nicht erwähnte Möglichkeiten der Rückkopplung sind denkbar und für die Erfindung einsetzbar.

Fig. 3 zeigt ein mögliches Ausführungsbeispiel der Erfindung nach Patentanspruch 2. Das Ausführungsbeispiel unterscheidet sich von dem nach Fig. 1 dadurch, daß ein Teil der Ansteuersignale eines oder mehrerer Halbleiterlasers in Selbstinjektionskonfiguration (50, 51) auf einen bzw. mehrere Ausgänge (45, 46) geführt werden. Der Vorteil dieser Anordnung liegt darin, daß durch die elektrischen Signale an den Ausgängen eine oder mehrere externe Anordnungen, mit sehr niedrigem Zeitjitter getriggert bzw. synchronisiert werden können. Als gesamter Zeitjitter macht sich auch hier

hauptsächlich nur der unkorrelierte Zeitjitter der Laserdioden bemerkbar. Denkbar ist auch, daß die elektrischen Signale noch einer Verstärkung oder Pulsformung zugeführt werden.

Fig. 4 zeigt ein mögliches Ausführungsbeispiel der Erfindung nach Patentanspruch 3. Das Ausführungsbeispiel unterscheidet sich von dem nach Fig. 1 dadurch, daß die optischen Signale nach Durchlaufen des optischen Wellenleiters mit geeigneten Anordnungen (70) voneinander getrennt und räumlich wieder auf mehrere Zweige verteilt werden. So läßt sich beispielsweise die Erzeugung von Anregungs- und Abtastpuls für typische Pump- und Probe-Experimente realisieren. In den Fig. 5 bis 7 sind beispielhaft drei unterschiedliche Methoden der Pulstrennung aufgezeigt.

Fig. 5 zeigt ein mögliches Ausführungsbeispiel der Erfindung nach Patentanspruch 4. Das Ausführungsbeispiel unterscheidet sich von dem nach Fig. 4 dadurch, daß die Halbleiterlaser in Selbstinjektionskonfiguration (50, 51) auf unterschiedlichen spektralen Wellenlängen λ_{50} bzw. λ_{51} emittieren und die optische Signaltrennung nach Durchlaufen des optischen Wellenleiters (60) durch mehrere spektrale Filter unterschiedlicher Wellenlänge (80, 81) vorgenommen wird. Dabei ist je ein Filter für einen Zweig vorgesehen und besitzt die gleiche Wellenlänge λ_{50} bzw. λ_{51} wie der diesem Zweig zugeordnete Laser. Ist es nicht möglich oder sinnvoll, die optischen Signale zeitgleich durch den Wellenleiter (60) zu führen, können ein oder mehrere Laser mit einem Zeitversatz $T_V < T_D = 1/f_0$ versehen werden. Dieser kann dann durch Einfügen eines zusätzlichen optischen Wellenleiters (70) mit einer Signallaufzeit T_V in die jeweils anderen optischen Zweige ausgeglichen werden. Diese Maßnahme ist für das Funktionieren der Erfindung aber nicht zwingend notwendig.

Fig. 6 zeigt ein mögliches Ausführungsbeispiel der Erfindung nach Patentanspruch 5. Das Ausführungsbeispiel unterscheidet sich von dem nach Fig. 4 dadurch, daß nach den Halbleiterlasern in Selbstinjektionskonfiguration (50, 51) jeweils ein optischer Polarisationssteller eingefügt wird (52, 53). Die beiden Polarisationssteller sind so zu justieren, daß das optische Signal eine lineare-Ausgangspolarisation besitzt, die zu der des jeweils anderen Zweiges senkrecht steht. Nach Durchlaufen des optischen Wellenleiters (60) wird die räumliche Trennung der optischen Signale durch zwei Polarisationsfilter mit zueinander senkrecht eingestellter Polarisation (70, 71) vorgenommen. Diese Anordnung eignet sich nur für die Verteilung der optischen Signale auf zwei Zweige.

Fig. 7 zeigt ein mögliches Ausführungsbeispiel der Erfindung nach Patentanspruch 6. Das Ausführungsbeispiel unterscheidet sich von dem nach Fig. 4 dadurch, daß die Trennung der optischen Signale nach Durchlaufen des Wellenleiters (60) durch optische Schalter (z. B. elektrooptische oder akustooptische Modulatoren) (80, 81) vorgenommen wird. Zu diesem Zweck sind ein oder mehrere Laser mit einem Zeitversatz $T_V < T_D = 1/f_0$ gegenüber dem Referenzlaser (50) zu versehen. Dieser ist durch Einfügen eines zusätzlichen optischen Wellenleiters (70) mit einer Signallaufzeit T_V nach der räumlichen Trennung der optischen Signale wieder auszugleichen. Die Ansteuerung der Schalter wird durch eine geeignete konzipierte elektronische Schaltung (90, 91) vorgenommen, die aus der jeweiligen momentanen Phasenlage bzw. Zeitverschiebung eines Lasers als Eingangsgröße den optimalen Zeitpunkt zum Öffnen des Schalters in jeweils einem Zweig bestimmt. Ein beispielhaftes Zeitdiagramm für zwei Laser ist in Fig. 8 gezeigt.

Die Erfindung ist nicht auf die beschriebenen Ausführungsbeispiele beschränkt, sondern sinngemäß auf weitere anwendbar. Insbesondere sind Kombinationen der in den Patentansprüchen 1 bis 6 bzw. in den Fig. 1 bis 7 aufgeführten Anordnungen möglich.

Patentansprüche

1. Vorrichtung und Verfahren zur Erzeugung mehrerer zeitlich zueinander verschiebbarer Laserpulse mit geringem Zeitjitter, dadurch gekennzeichnet, daß

- a) ein frei einstellbarer Zeitabstand zwischen den Laserpulsen unterschiedlicher Halbleiterlaserdioden durch Variation der Phasenlage der Ansteuersignale einer oder mehrerer Halbleiterlaserdioden gewählt werden kann,
- b) mehrere Halbleiterlaserdioden in Selbstinjektionskonfiguration Verwendung finden,
- c) eine gemeinsame Pulsausbreitung und/oder Pulsveränderung der Pulse aller Halbleiterlaserdioden in optischen Wellenleitern stattfindet.

2. Vorrichtung und Verfahren zur Erzeugung mehrerer zeitlich zueinander verschiebbarer Laserpulse mit geringem Zeitjitter nach Patentanspruch 1; dadurch gekennzeichnet, daß die Pulse einer oder mehrerer Halbleiterlaserdioden in Selbstinjektionskonfiguration mit einem oder mehreren anderen Systemen elektrisch synchronisiert werden können.

3. Vorrichtung und Verfahren zur Erzeugung mehrerer zeitlich zueinander verschiebbarer Laserpulse mit geringem Zeitjitter nach Patentanspruch 1 oder Patentanspruch 2; dadurch gekennzeichnet, daß eine räumliche Trennung der optischen Pulse nach der gemeinsamen Pulsausbreitung und/oder Pulsveränderung in einem gemeinsamen optischen Wellenleiter stattfindet.

4. Vorrichtung und Verfahren zur Erzeugung mehrerer zeitlich zueinander verschiebbarer Laserpulse mit geringem Zeitjitter nach Patentanspruch 3; dadurch gekennzeichnet, daß die räumliche Trennung der Pulse unterschiedlicher Wellenlänge mittels mehrerer spektraler Filter stattfindet.

5. Vorrichtung und Verfahren zur Erzeugung mehrerer zeitlich zueinander verschiebbarer Laserpulse mit geringem Zeitjitter nach Patentanspruch 3; dadurch gekennzeichnet, daß die räumliche Trennung der Pulse unterschiedlicher, zueinander senkrechter Polarisation mittels eines Polarisationssteilers oder eines Strahlteilers mit zwei nachfolgenden zueinander senkrecht justierten Polarisationsfiltern stattfindet.

6. Vorrichtung und Verfahren zur Erzeugung mehrerer zeitlich zueinander verschiebbarer Laserpulse mit geringem Zeitjitter nach Patentanspruch 3; dadurch gekennzeichnet, daß die räumliche Trennung der Pulse mit geringem zeitlichen Versatz im gemeinsamen Wellenleiter mittels optischer Schaltelemente, wie z. B. elektrooptischer oder akustooptischer Modulatoren, stattfindet.

Abbildungen

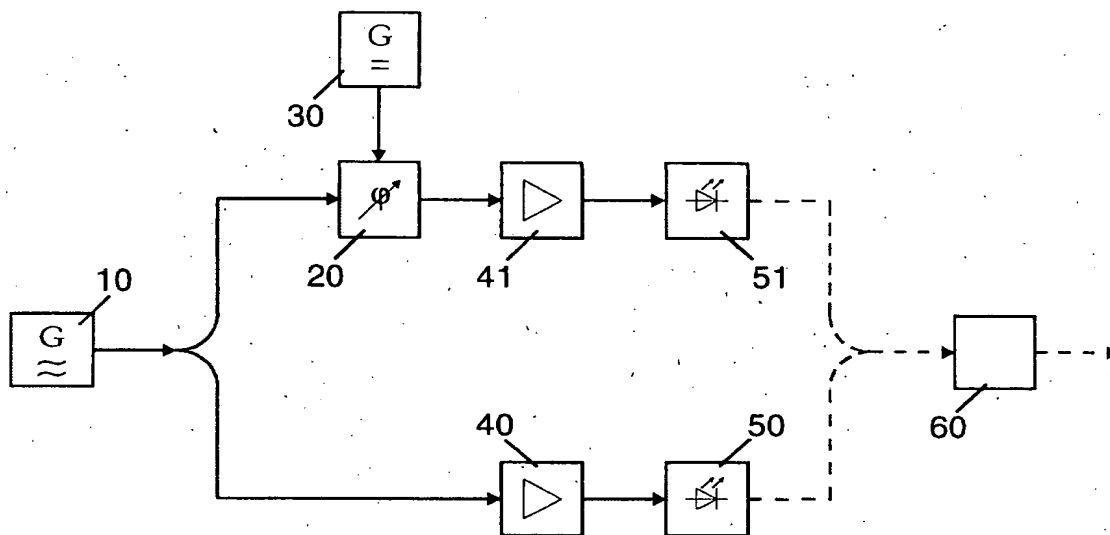


Fig. 1

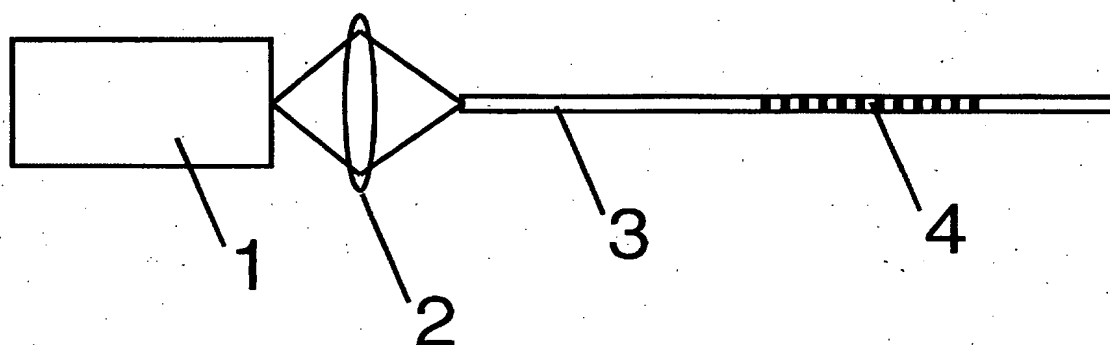


Fig. 2

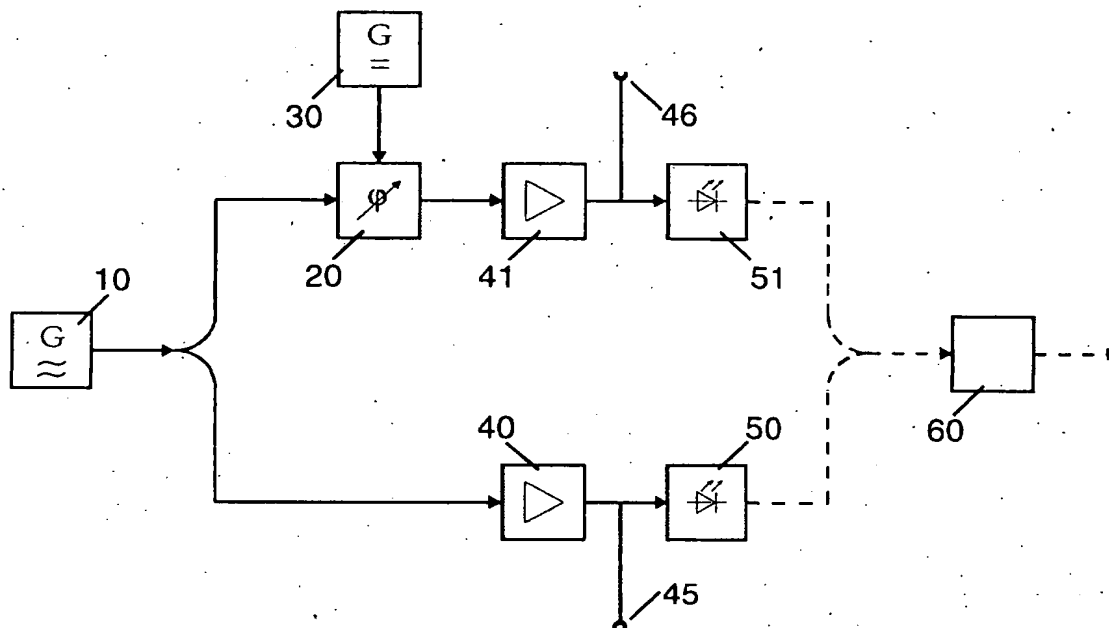


Fig. 3

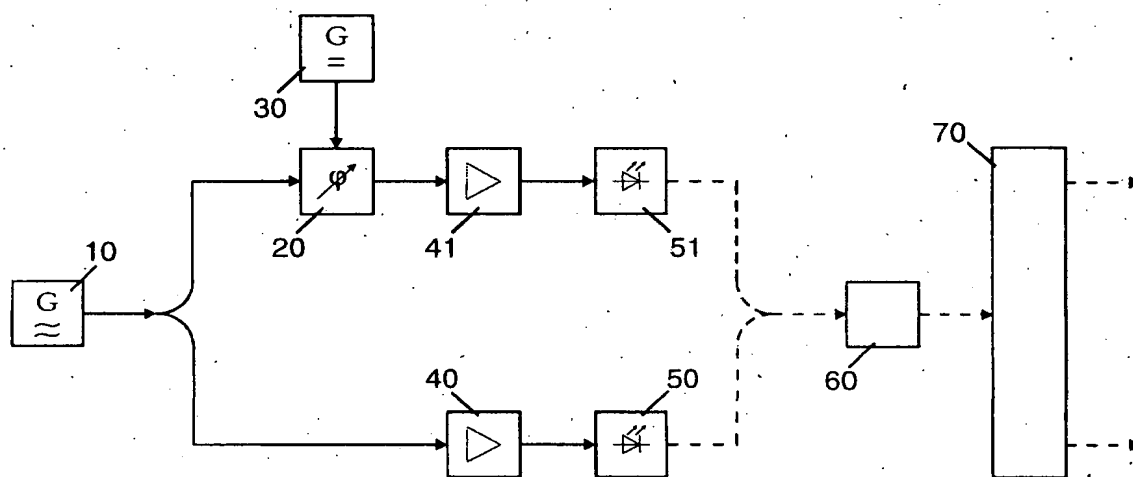


Fig. 4

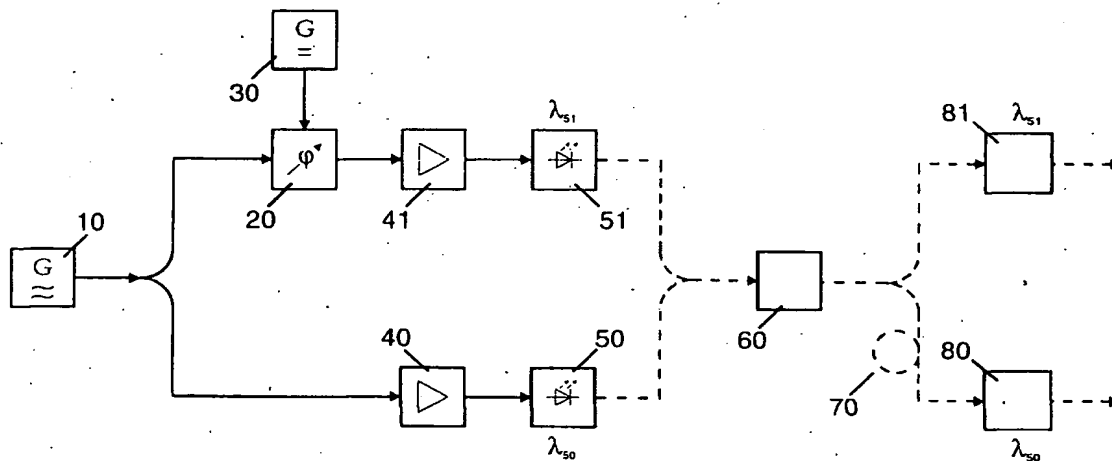


Fig. 5

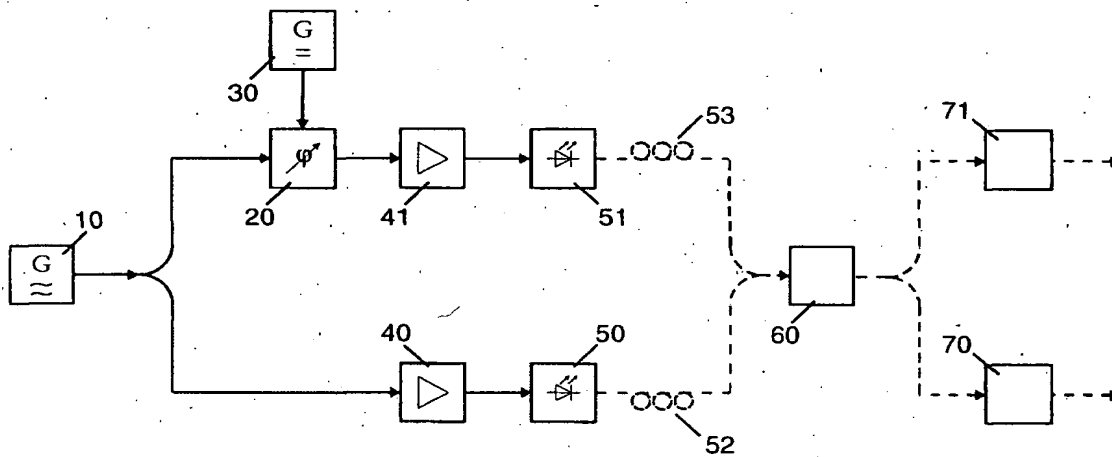


Fig. 6

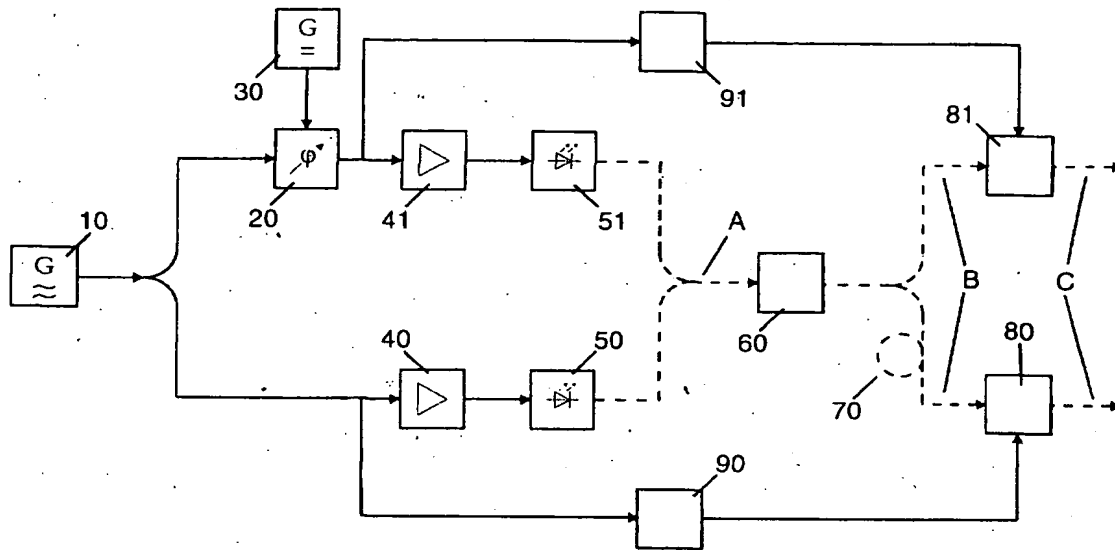


Fig. 7

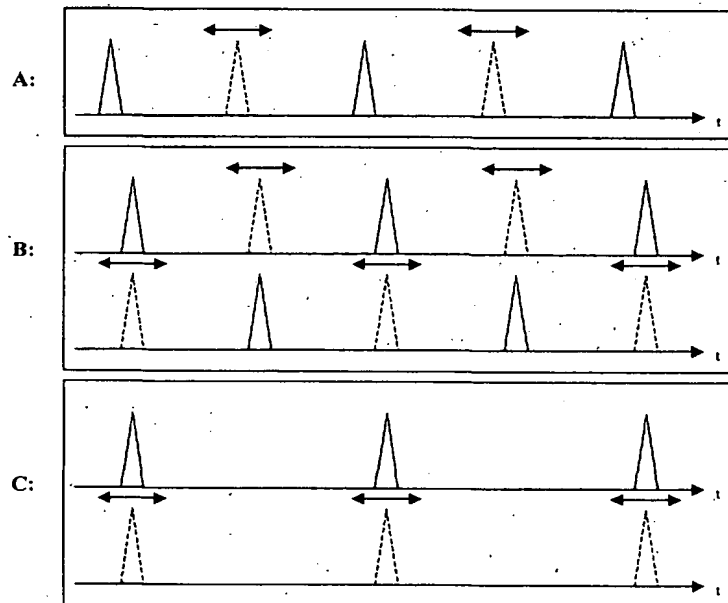


Fig. 8

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☒ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.